DIE NATURWISSENSCHAFTEN

33. Jahrgang | 30. Oktober 1946*) | Heft 8

Zum 90. Geburtstag von Heinrich Hertz.

Von J. Zenneck.

Zu den Jubiläen, die in unserem Lande trotz der sonstigen Feierfreudigkeit des letzten Jahrzehnts nicht oder kaum gefeiert wurden, gehört das 50jährige Jubiläum der Entdeckung der elektrischen Wellen durch Heinrich Hertz. Ich begrüße es deshalb lebhaft, daß „Die Naturwissenschaften" bei der 90. Wiederkehr seines Geburtstages wieder an ihn und sein Werk erinnern wollen. Eine solche Erinnerung ist vielleicht nicht unnötig. Es würde interessant sein zu prüfen, wie viele von den Millionen, die ein „Radio" besitzen und damit die Entdeckung von Hertz genießen, eine Kenntnis davon haben, wer Heinrich Hertz war und was er geleistet hat.

Heinrich Hertz war am 22. Februar 1857 in Hamburg geboren; sein Vater war ein angesehener Rechtsanwalt, später Oberlandesgerichtsrat und nachher Senator. Da Hertz beabsichtigte Bauingenieur zu werden, erledigte er nach dem Abiturium (1875) die für Bauingenieure vorgeschriebene praktische Tätigkeit und zwar in Frankfurt am Main. Im nächsten Jahr studierte er an der Technischen Hochschule Dresden und wurde dann Einjährig-Freiwilliger beim Eisenbahn-Regiment in Berlin. Danach ging er nach München an die Technische Hochschule, aber noch ehe das Semester begonnen hatte, kam bei ihm ein schon lange erwogener Entschluß zum Durchbruch, das Bauingenieurfach aufzugeben und Mathematik und Physik zu studieren, was er dann an der Technischen Hochschule und Universität München auch tat.

Im Herbst 1878 siedelte er an die Universität Berlin über, die damals durch Helmholtz und Kirchhoff eine besondere Anziehungskraft für Physiker und Mathematiker besaß. Schon 1880 promovierte er mit einer theoretischen Arbeit „Über die Induktion in rotierenden Kugeln", bekam eine Assistentenstelle bei Helmholtz und veröffentlichte eine Reihe von experimentellen und theoretischen Arbeiten. Mit einer experimentellen Arbeit habilitierte er sich auch 1883 an der Universität Kiel. Ein Jahr darauf erhielt er einen Ruf als ordentlicher Professor an die Technische Hochschule Karlsruhe, heiratete dort 1886 die Tochter eines Kollegen, Elisabeth Doll, die erst vor 5 Jahren in England gestorben ist, und führte 1887—1888 seine Versuche mit elektrischen Wellen aus. Die Folge war, daß die Universität Gießen sich um ihn bewarb, daß er einen Ruf nach Berlin und nach Bonn und die Möglichkeit bekam, unter besonders günstigen Bedingungen die Leitung eines neu zu gründenden Forschungsinstituts in den Vereinigten Staaten zu übernehmen. Er wählte Bonn. Glanzpunkte seiner Bonner Zeit waren ein Vortrag „Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität" bei der Naturforscher-Versammlung in Heidelberg, zu dem ihn die Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte aufgefordert hatte, und eine Reise nach England auf Einladung der Royal Society. Aus seinem Bericht darüber geht hervor, wie freundlich er von den englischen Kollegen aufgenommen wurde und welche Freude es ihm gemacht hat, die ihm wissenschaftlich gut bekannten englischen Physiker auch persönlich kennen zu lernen.

Die Übersiedlung nach Bonn bildete mit *einer* Ausnahme, der Arbeit „Über die mechanische Wirkung elektrischer Drahtwellen" [1]), den Abschluß seiner experimentellen Tätigkeit. Er arbeitete dort fast nur an seinem theoretischen Werk „Die Prinzipien der Mechanik". Schon gegen Ende seiner Karlsruher Zeit war er nicht mehr ganz gesund. Er hatte Schwierigkeiten mit seinen Zähnen und Augen, mit einem Fußleiden und einer Grippe. Im Sommer 1892 zeigte es sich, daß ein ernsthaftes Nasen-, Rachen- und Ohrenleiden vorlag, augenscheinlich Äußerungen einer allgemeinen Sepsis, der er 1893, noch nicht 37 Jahre alt, erlag.

Daß Hertz nicht nur ein sehr guter, sondern ein genialer Physiker war, dafür spricht wohl am besten die folgende Tatsache. Als er 1880 nach dem zweisemestrigen Studium von Mathematik und Physik in München sein 3. [2]) Semester an der Universität Berlin begann, hatte die philosophische Fakultät dort als Preisaufgabe gestellt, es solle untersucht werden, ob die Elektrizität, die beim elektrischen Strom in einem Draht fließt, eine nachweisbare Masse und damit Trägheit (kinetische Energie) besitze. Obwohl Hertz nach dem Maßstab der technischen Hochschulen noch nicht einmal zur Vorprüfung zugelassen worden wäre, nahm er die Preisaufgabe sofort in Angriff, führte sie in kurzer Zeit durch [3]) und erhielt den Preis mit besonderer Anerkennung seiner Leistung bei der Preisverkündigung. Auch daß er schon nach zwei Jahren, also im 7. Semester, promovierte, ist ein Zeichen seiner ungewöhnlich frühen physikalischen Reife.

Ein Beweis dafür, wie leicht ihm das physikalische Arbeiten wurde, ist, daß — mit Ausnahme einer einzigen Arbeit, die erst *1892* erschienen ist — seine sämtlichen experimentellen Arbeiten, soweit sie nicht elektrische Wellen betreffen, in seine kurze Berliner Assistentenzeit (1880—1883) fallen. Dabei befassen sie sich mit den verschiedenartigsten Aufgaben z. B. mit einem Hitzdraht-Strommesser mit Spiegelablesung zur Messung sehr schwacher elektrischer Ströme, mit der Verdunstung und Kondensation von Flüssigkeiten, mit Versuchen über die Glimmentladung und mit Kathodenstrahlen. In der ersten Arbeit, die sich mit Kathodenstrahlen beschäftigt [4]), handelt es sich um die Frage nach der physikalischen Natur der Kathodenstrahlen. Daß er dabei auf Grund sehr sorgfältiger, aber wie sich später herausstellte, nicht einwandfreier Versuche zu einem unrichtigen Ergebnis [5]) gelangte, mag für manchen Physiker, der ein ähnliches Mißgeschick hatte, ein Trost sein. In der zweiten Arbeit [6]) wies er als neue Eigenschaft der Kathodenstrahlen nach, daß sie imstande sind, dünne Metallschichten zu durchdringen, ohne ihre Eigenschaften zu verlieren. Eine weitere grundlegende Entdeckung, diejenige des lichtelektrischen Effekts, enthält eine Arbeit [7]), die im Zu-

[1]) Wied. Ann. 42 (1891) 407—415.

[2]) oder sein 5., wenn man die ersten zwei in der Bauingenieur-Abteilung mitrechnet.

[3]) „Versuche zur Feststellung der oberen Grenze für die kinetische Energie der elektrischen Strömung", Wied. Ann. **10** (1880) 414—446. Hertz kam später auf die Frage zurück: „Obere Grenze für die kinetische Energie der bewegten Elektrizität", Wied. Ann. **14** (1881) 581—590.

[4]) „Versuche über die Glimmentladung", Wied. Ann. **19** (1883) 788—816.

[5]) „Diese Kathodenstrahlen sind elektrisch indifferent. Unter den bekannten Agentien ist das Licht die ihnen am nächsten verwandte Erscheinung."

[6]) „Über den Durchgang der Kathodenstrahlen durch dünne Metallschichten." Wied. Ann. **45** (1892) 28—38.

[7]) Wied. Ann. **31** (1887) 983—1000.

*) Ausgegeben im März 1947.

sammenhang mit seinen Versuchen über elektrische Wellen gemacht wurde, aber unmittelbar nichts damit zu tun hat.

Von den theoretischen Arbeiten vor 1887 beziehen sich vier auf elastische Fragen. Zwei sind sehr bekannt geworden, diejenige „Über die Berührung fester Körper und über die Härte" [8]) und die „Über das Gleichgewicht schwimmender elastischer Platten [9]). Die erste behandelt eine wichtige, aber physikalisch schwer faßbare Eigenschaft fester Körper, die Härte. Die übliche praktische Methode zur Bestimmung derselben (Härteskala) bedeutet höchstens ein Rezept; die von Hertz vorgeschlagene Definition besitzt durchaus die Schärfe von anderen physikalischen Definitionen und ist wohl bis heute in der einen oder anderen Form die einzig brauchbare geblieben. Die zweite genannte Arbeit überrascht durch ihr Ergebnis: man kann eine ebene elastische Platte, deren Dichte größer ist als die des Wassers, unter Umständen dadurch zum Schwimmen auf Wasser bringen, daß man sie mit einem Gewicht belastet. Die Erklärung ist einfach die, daß beim Auflegen des Gewichts an geeigneter Stelle die Platte sich zu einer Schale durchbiegt.

Den Höhepunkt der wissenschaftlichen Tätigkeit von Hertz bildeten seine *Versuche mit elektrischen Wellen.*

Am meisten Aufsehen erregt haben die Versuche, die Hertz in einer Arbeit mit dem Titel „Über Strahlen elektrischer Kraft" [10]) veröffentlichte. Der *Sender,* den er verwandte (Fig. 1), die praktische Ausführung des

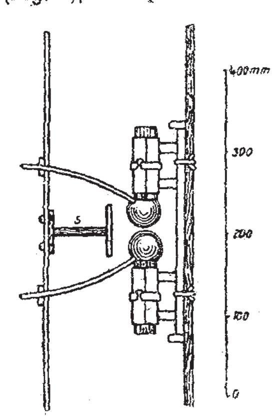


Fig. 1. Kleiner Sender für Spiegelversuche von Heinrich Hertz (Schema).

„Hertzschen Dipols", bestand im wesentlichen aus einem Metallrohr von 25 cm Länge, das in der Mitte durch eine Funkenstrecke mit Metallkugeln unterbrochen war. Die Wellenlänge des Senders, durch stehende Wellen in Luft gemessen, betrug 66 cm. Der *Empfänger* war entweder ein kreisförmiger Kupferdraht von 7,5 cm Kreis-Durchmesser oder derjenige von Fig. 2: zwei gerade Drahtstücke von 50 cm Länge und 5 mm Durchmesser in einer Geraden, zwischen den einander zugekehrten Endpunkten zwei Drähte angeschlossen, die zu einer fein regulierbaren Funkenstrecke führten. Sender und Empfänger standen in zylindrischen Metallspiegeln von parabolischem Querschnitt. Mit dieser Anordnung konnte Hertz die geradlinige Ausbreitung, die Polarisation und Versuche mit Polarisatoren (Paralleldrähten), Reflexion und Brechung der Strahlen zeigen.

Fragen wir uns einmal, was das Neue an diesen Versuchen war.

a) Die Herstellung elektrischer Schwingungen war bekannt. Daß sie bei den Entladungen von Kondensatoren durch Induktivitäten zustande kommen müssen, war durch die Theorie von Lord Kelvin und Kirchhoff vorausgesagt, durch Feddersen experimentell bewiesen worden. Schon im Jahr 1870 hatte W. von Bezold Versuche gemacht, bei denen er elektrische Schwingungen hoher Frequenz und Wellen längs Drähten bekam und auch richtig deutete; aber, obwohl seine Mitteilung ausdrücklich als vorläufige bezeichnet war, hat er die Frage nicht weiter verfolgt und so war seine Arbeit vollkommen in Vergessenheit geraten. Der Nestor der elektrischen Schwingungen, Oliver Lodge, hat in denselben Jahren, in die die Arbeiten von Hertz fallen, die Theorie des Blitzableiters untersucht und dabei eine Reihe von Versuchen über die Entladung sehr kleiner Kondensatoren angestellt, welche ihn auf die Beobachtung von Schwingungen und von Wellen längs Drähten führten. Und Professor Fitzgerald, damals in Dublin, hatte sich „seit mehreren Jahren bemüht, mit Hilfe der Theorie die Möglichkeit solcher Wellen vorauszusagen und die Bedingungen für die Erzeugung derselben aufzufinden". [11]) Alle diese Vorläufer hat Hertz selbst in der Einleitung zum 2. Band seiner Gesammelten Werke, der den Titel führt „Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kräfte", erwähnt, die Arbeit von v. Bezold sogar zum großen Teil in diesem Band abgedruckt und damit der Vergessenheit entrissen.

Aber im Gegensatz zu diesen Vorläufern hat Hertz eine äußerst klare und einfache Senderanordnung angegeben, durch die es möglich war, elektrische Schwingungen von ungefähr 1000mal höherer Frequenz als die-

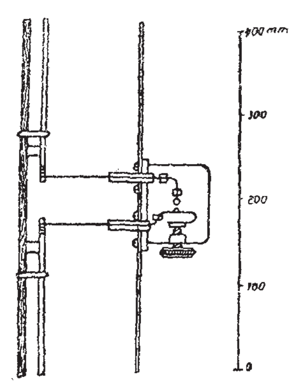


Fig. 2. Kleiner Empfänger für Spiegelversuche von Heinrich Hertz (Schema).

jenige der schnellsten von Feddersen hergestellten und zwar in offenen Leitern zu bekommen und dadurch auch im Außenraum elektromagnetischer Felder diese Frequenz zu erzeugen.

b) Dieser Sender würde nicht ausgereicht haben, wäre es Hertz nicht gelungen, einen *Empfänger* herzustellen, der gestattete, das elektromagnetische Feld des Senders noch auf eine Entfernung von vielen Metern und damit vielen Wellenlängen messend zu verfolgen. Sein Empfänger war von weit größerer Empfindlichkeit als alles damals bekannte. Wenn man heute einem Radio-Beflissenen, der von Hertz nur weiß, daß er „die Anzahl von Perioden pro Sekunde erfunden" hat, von diesem Empfänger erzählte, so würde er, der stolze Besitzer eines „Superhets", sich ebenso darüber wundern, daß ein Mann wie Hertz sich mit etwas so Primitivem abgegeben hat, wie darüber, daß man auch noch über eine solche „vorsintflutliche" Sache spricht Aber dieser einfache Empfänger von Hertz, bei dem alle störenden Nebenapparate entbehrlich sind, ist nicht nur sehr fein ausgedacht, sondern weit empfindlicher als man von vornherein geneigt ist anzunehmen, davon habe ich mich früher bei ausgedehnten Versuchen überzeugt; Bedingung ist nur eine gewisse Schulung des Auges in der Unterscheidung kleiner Änderungen in der Intensität der kleinen Fünkchen.

8) Verh. d. Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes, 61 (1882) 449—463.
9) Wied. Ann. 22 (1884) 449—455.
10) Sitzungsber. Berl. Akad. Wissenschaften vom 13. Dez. 1888 und Wied. Ann. 36 (1888) 769—783.

11) Einleitung zum 2. Band der Gesammelten Werke.

Bei der Frage, wie Hertz zu seinen Versuchen kam, was er damit beabsichtigte und welche Schlüsse er daraus gezogen hat, ist man in der angenehmen Lage, nicht auf Vermutungen angewiesen zu sein. In der schon erwähnten Einleitung zu dem 2. Band seiner Gesammelten Werke hat Hertz sich mit ungewöhnlicher Offenheit über seine Gedanken, Erfolge und Fehler bei seinen Versuchen ausgesprochen. Er sagt dort über die Bedeutung der Versuche:

„Durch die Gesamtheit der geschilderten Versuche ist zum ersten Male der Beweis geliefert worden für die zeitliche Ausbreitung einer vermeintlichen Fernkraft. Diese Tatsache bildet den philosophischen, in gewissem Sinne zugleich den wichtigsten Gewinn der Versuche. In diesem Beweise ist enthalten die Erkenntnis, daß die elektrischen Kräfte sich von den ponderablen Körpern loslösen und selbständig als Zustände oder Veränderungen des Raumes fortbestehen können. Neben dieser Erkenntnis liefern die Einzelheiten der Versuche den Beweis, daß die besondere Art der Ausbreitung der elektrischen Kraft die größte Analogie, wenn nicht vollständige Übereinstimmung zeigt mit der Ausbreitung der Lichtbewegung. Dadurch wird die Hypothese, daß das Licht eine elektrische Erscheinung ist, in hohem Maße wahrscheinlich gemacht ...

Was wir hier als die Leistung der Versuche bezeichnet haben, leisten dieselben unabhängig von der Richtigkeit besonderer Theorien, ... Seit dem Jahr 1861 besitzt die Wissenschaft die Theorie, welche Maxwell auf den Anschauungen Faradays aufgebaut hat, welche wir deshalb die Faraday-Maxwellsche Theorie nennen und welche die Möglichkeit der hier aufgefundenen Klasse von Erscheinungen mit der gleichen Sicherheit behaupten konnte, mit welcher die übrigen elektrischen Theorien gezwungen waren, die Möglichkeit derselben zu verneinen. Die Maxwellsche Theorie übertraf von vorneherein die übrigen elektrischen Theorien durch Schönheit und Reichtum der Beziehungen, welche sie zwischen den Erscheinungen annahm. Gleichwohl vermochte die Maxwellsche Theorie die ihr entgegenstehenden Theorien nicht vollständig zu verdrängen, weil sie sich nur auf die Wahrscheinlichkeit ihrer Endergebnisse, nicht auf die Sicherheit ihrer Voraussetzungen berufen konnte. ... In diesem ihrem natürlichen Zusammenhang können wir Absicht und Ergebnis unserer Versuche nicht besser charakterisieren als indem wir sagen: die Absicht dieser Versuche war die Prüfung der Fundamentalhypothesen der Faraday-Maxwellschen Theorie und das Ergebnis der Versuche ist die Bestätigung der Fundamentalhypothesen dieser Theorie."

Heute denken wir bei der klassischen Elektrodynamik an nichts anderes als an die Faraday-Maxwellsche Theorie und wundern uns, daß damals, 15 Jahre nachdem Maxwells großes Werk „Treatise on electricity and magnetism" (1873) erschienen war, noch Zweifel an ihren Grundlagen bestehen konnten. Aber es ist doch ganz richtig, wenn J. Blanchard[12]) in seinem ausgezeichneten Aufsatz über die Entdeckung der elektrischen Wellen ausführt: "it was regarded by many as merely a speculation, by others as probably true and by none as conclusively proved." Das war damals sicher der Hauptgrund dafür, daß die Maxwellsche Theorie nur langsam Boden gewinnen konnte. Etwas Schuld daran hat wohl die Darstellung von Maxwell selbst getragen, die dem Verständnis nicht entgegenkam; die Form der Maxwellschen Gleichungen, die wir — abgesehen vom Koordinatensystem — jetzt gewöhnlich zu Grunde legen, ist diejenige, die ihnen Hertz gegeben hat[13]). Dazu kam, daß die meisten damals bekannten elektrodynamischen Erscheinungen durch die Vor-Maxwellschen Theorien befriedigend wiedergegeben wurden; man hat deshalb wohl dem Unterschied zwischen diesen und der Maxwellschen keine allzu große Bedeutung beigemessen und das Gefühl gehabt, daß sich darüber die Theoretiker unter sich einigen mögen.

Dieser Unterschied besteht bekanntlich in folgendem. Während die früheren Theorien nur ein induziertes *elektrisches* Feld kannten, das durch eine zeitliche Änderung eines magnetischen hervorgerufen wird und der Geschwindigkeit der Änderung desselben proportional ist, hat die Maxwellsche Theorie das dazu symmetrische *induzierte magnetische* Feld hinzugefügt, das durch die zeitliche Änderung eines elektrischen Feldes induziert werden und der Geschwindigkeit seiner Änderung proportional sein sollte. In dieser Proportionalität mit der Geschwindigkeit, mit der das induzierende elektrische Feld sich ändert, war es begründet, daß auf dem Gebiet der Schwingungen, das allein in Frage kam, das induzierte magnetische Feld nur dann maßgebende Stärke bekommt, wenn die Frequenz *sehr* hoch ist. Darin liegt der Schlüssel für das Verständnis von zwei Tatsachen. In der Zeit vor Hertz kannte man Schwingungen von so hoher Frequenz nicht; bei den meisten der damals bekannten Erscheinungen spielte deshalb das induzierte magnetische Feld nur eine geringe Rolle; das ist der Grund, warum die Vor-Maxwellschen Theorien die Beobachtungen genügend wiedergaben. Auf der anderen Seite konnte eine Entscheidung zwischen der Maxwellschen und den Vor-Maxwellschen Theorien nur der erbringen, der die Kunst beherrschte, Schwingungen sehr hoher Frequenz herzustellen. Darin liegt die Bedeutung der Hertzschen experimentellen Anordnungen und die *wesentliche* Bedeutung ihrer hohen Frequenz.

Unter den Folgerungen aus der Maxwellschen Theorie hat besonders *eine* großes Aufsehen erregt. Diese Theorie ergibt, daß die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit elektromagnetischer Wellen in einem homogenen isotropen Medium $= 1/\sqrt{\varepsilon\mu}$ sein muß, wenn ε bzw. μ die Dielektrizitätskonstante bzw. die Permeabilität des Mediums und das Maßsystem entsprechend gewählt ist. Das Produkt $\varepsilon \cdot \mu$ läßt sich durch Messungen, die nichts mit elektromagnetischen Wellen zu tun haben, bestimmen und es ergibt sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Luft zu ungefähr 3.10^{10} cm/sec d. h. also gleich der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen. Die Gleichheit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen und Lichtwellen hat sofort zu der Vermutung geführt, daß die beiden Wellenarten Erscheinungen derselben physikalischen Natur sein müssen, daß die Maxwellschen Gleichungen auch die optischen Vorgänge beherrschen. Dieser *„elektromagnetischen Lichttheorie"* haben die Versuche von Hertz einen mächtigen Auftrieb gegeben, indem sie experimentell zeigten, daß die kurzen elektromagnetischen Wellen wirklich alle Eigenschaften der Lichtwellen besitzen. Zur Zeit unmittelbar nach den Hertzschen Versuchen ist diese Bedeutung derselben besonders hoch eingeschätzt worden; darauf bezog sich auch der erwähnte Vortrag von Hertz auf der Naturforscherversammlung in Heidelberg. — —

Wenn man heute von Hertzschen Wellen spricht, so denkt man meist an ihre *praktische Verwendung für die drahtlose Telegraphie und Telephonie.* Hertz hat in seinen Arbeiten nie den Gedanken ausgesprochen, daß man die Wellen auch für irgend eine Art von Nachrichten-Übermittlung benützen könnte; er hatte sich ja nur aus wissenschaftlichen Gründen damit abgegeben. Aber angenommen, er hätte damals schon versucht, seine Anordnungen zur Nachrichten-Übermittlung zu

[12]) Proc. Institute of Radio Engineers 26 (1938) 505 und 515.
[13]) „Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper". Wied. Ann. 40 (1890) 577—624.

verwenden, so würde er damit nur sehr bescheidene Erfolge erzielt haben. Denn sein Empfänger war wohl geeignet für die Entfernungen seines Hörsaales, aber nicht für so große Entfernungen und demnach so schwache Felder, wie sie bei der praktischen Nachrichten-Übertragung in Frage kommen. Vermutlich war er sich darüber vollkommen klar und verzichtete darauf, auf die Möglichkheit der praktischen Verwendung seiner Wellen hinzuweisen, die damals doch nur Zukunftsmusik gewesen wäre. Als der junge Marconi 8 Jahre später seine Versuche begann, war die Situation eine ganz andere geworden: nun lag in dem Cohärer von Branly ein Detektor vor, der eine Empfindlichkeit von ganz anderer Größenordnung hatte als der Empfänger von Hertz.

Die Versuche von Marconi waren der Anfang jener Entwicklung, die auf der Grundlage der Hertzschen Entdeckung zu einer völligen Umgestaltung des ganzen Nachrichtenwesens geführt hat. Es ist ungemein interessant, diese Entwicklung einmal *im Verhältns zu den Hertzschen Versuchen* zu betrachten.

Hertz hat bei seinen Versuchen mit Wellenlängen zwischen ungefähr 7 m und 70 cm d. h. also schon mit Wellen gearbeitet, die man heute als *„Ultrakurzwellen"* bezeichnet. Sein Sender war ein symmetrischer Dipol mit einer Funkenstrecke und demnach gedämpften Schwingungen, seine Wellen pflanzten sich frei in der Luft fort. Als Marconi seine ersten erfolgreichen Versuche auf größere Entfernung machte, wich er davon insofern ab, als seine Antenne unten geerdet und seine Wellenlängen viel größer waren. Wer die Hertzschen Arbeiten kannte, war sich sofort darüber klar, daß diese Antenne nichts anderes als die eine Hälfte eines Hertzschen Dipols sei. Aber aus der Analogie mit den Hertzschen Versuchen zog man zwei falsche Schlüsse. Der erste war, daß die Reichweite der drahtlosen Telegraphie durch die optische Sichtweite begrenzt sein müsse, da ja gerade nach den Versuchen von Hertz die elektrischen Wellen sich wie Lichtwellen fortpflanzen. Der zweite, den man aus einer theoretischen Arbeit von Hertz über das Strahlungsfeld seines Dipols[14]) zog, war, daß die Verhältnisse um so günstiger werden müssen, mit je kürzeren Wellenlängen man arbeitet. Der Fehler bei beiden Schlüssen lag in der Vernachlässigung des Einflusses, den die leitende Erde auf die Wellenteile ausübt, die in horizontaler Richtung ausgestrahlt werden und sich nicht gradlinig fortpflanzen, sondern die leitende Erde als Führung benützen[15]) und durch sie eine Absorption erleiden. Die Versuche ergaben denn auch sehr rasch, daß für die Abnahme des elektrischen Feldes eines Senders die optische Sichtweite durchaus keine ausgezeichnete Rolle spielt und daß die Verhältnisse um so günstiger werden, je größer die Wellenlänge ist, da die Absorption an der Erde mit wachsender Wellenlänge abnimmt.

Die Erfahrung, daß die Reichweite immer weiter wuchs, je größer man die Kapazität und Höhe der Antenne machte, führte zu immer größeren Antennengebilden — diejenige der Langwellen-Station in Nauen hatte z. B. eine Länge von 1500, eine Breite von 1000 und die Türme eine Höhe von 260 m —; sie führte damit automatisch zu immer größeren Wellenlängen, die zum Teil 20000 m überschritten, und auch zu immer größeren Leistungen, die viele Hundert Kilowatt betrugen. Man hatte sich damit jedenfalls in den Dimensionen von den Anordnungen von Hertz und auch von den ersten Anordnungen von Marconi weit entfernt und sich in das Gebiet der *Hochfrequenz-Großtechnik*, wenn man so sagen darf, begeben, das N. Tesla eröffnet und entwickelt hatte. Die verhältnismäßig geringen Frequenzen gestatteten, die gedämpften Schwingungen der Funkensender zu verlassen und die günstigeren ungedämpften von Maschinen-Sendern mit oder ohne Frequenz-Vervielfachung, ebenso von Lichtbogen- und später Röhren-Generatoren zu verwenden.

Aber nun erfolgte die Umkehr. Sie wurde eingeleitet durch die Beobachtung, daß bei Verwendung der empfindlichen Röhrenempfänger außerordentlich große Reichweiten zu erzielen seien mit Sendern von viel geringeren Ausmaßen, viel geringerer Leistung und viel geringerer Wellenlänge, als sie bis dahin üblich gewesen waren, wie man sie aber jetzt mit Röhrengeneratoren leicht erzeugen konnte. Daß man dabei, wenn es sich um einigermaßen große Entfernungen handelte, nicht die Mitwirkung des Erdbodens, sondern diejenige der hohen Atmosphärenschichten, der Ionosphäre, ausnützte, hatte man bald herausgefunden. Der *Kurzwellen*-Sender wurde der normale Sender für große Entfernungen.

Man hat in dieser rückläufigen Entwicklung nicht halt gemacht, sondern ist für viele Zwecke weiter gegangen zu den *Ultrakurzwellen* mit ihren symmetrischen Dipol-Sendern, die bei ihrer Ausbreitung weder von der Mitwirkung des Erdbodens noch von derjenigen der Ionosphäre Gebrauch machen, sondern sich, abgesehen von der unvermeidlichen Reflexion am Erdboden, im wesentlichen wie optische in der freien Luft ausbreiten. Und der Hauptgrund für ihre Verwendung ist die Möglichkeit, sie in bestimmten Richtungen auszusenden und nur die aus bestimmten Richtungen kommenden aufzunehmen, wie es Hertz mit seinen Hohlspiegeln schon getan hatte. Die experimentellen Hilfsmittel haben sich geändert, im Wesen der Sache ist man auf die Hertzschen Versuche zurückgekommen: sie haben auch in praktischer Beziehung ihre Lebenskraft bewiesen.

Das letzte Werk von Hertz waren seine *„Prinzipien der Mechanik"*

Es ist sehr schwer, dieses Werk mit den anderen Arbeiten in Einklang zu bringen. Wohl besteht kein Zweifel, daß die Hertzsche Darstellung der Mechanik klar und vom logischen Standpunkt durchaus unanfechtbar ist. Aber sie ist auch in ihrer Allgemeinheit außerordentlich abstrakt und unanschaulich, wobei durch das Fehlen von Beispielen das Verständnis noch besonders erschwert wird. Man kann sich fragen, ob der komplizierte mathematische Apparat, mit dem Hertz natürlich doch nur zu den bekannten, durch die Erfahrung bestätigten Gesetze der Mechanik gelangen konnte, gerechtfertigt ist. Die bisherige Entwicklung hat diese Frage verneint.

Welche Gründe Hertz zu diesem Werk veranlaßt haben, ist nicht klar. Ob es damit zusammenhängt, daß er in seiner Originalität und wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit vielleicht doch schon den Höhepunkt überschritten hatte, ist schwer zu sagen. Gewiß ist, daß dieses Werk in eine Zeit fiel, in der er über Ermüdung und Mangel an Arbeitsfreudigkeit klagte und seine Krankheit schon ziemlich weit fortgeschritten war.

Die *Vielseitigkeit*, die sich in den wissenschaftlichen Arbeiten von Hertz ausspricht, kennzeichnete ihn schon als Schüler. Er war nicht nur ausgezeichnet in den mathematischen und naturwissenschaftlichen Fächern, sondern auch in Sprachen, von denen er außer den in der Schule gelehrten auch noch arabisch lernte; auch später benutzte er jede Gelegenheit, um sich im Umgang mit Ausländern Übung in modernen Sprachen zu verschaffen. Dazu kam die Beschäftigung mit Zeichnen, Modellieren, Mechanikerarbeit und Drechseln. Die gute Meinung, die alle seine Lehrer von ihm hatten, hat besonders hübsch sein Drechslermeister ausgedrückt.

14) „Die Kräfte elektrischer Schwingungen behandelt nach der Maxwell'schen Theorie", Wied. Ann. 36 (1889), 1—22.

15) Das Verhältnis der Entfernung Sender—Empfänger zur Wellenlänge lag damals im Gebiet der „Bodenwelle"

Als man ihm nach Jahren erzählte, daß Hertz Professor geworden sei, sagte er: „Ach wie schade, was wäre das für ein Drechsler geworden."

Als Physiker war er ein vorzüglicher *Experimentator* mit Lust und Liebe zum Experimentieren; er fühlte sich unglücklich, wenn er, wie in Kiel, keine Gelegenheit zum Experimentieren hatte oder wenn, wie zum Teil in Bonn, seine Versuche nicht gehen wollten. Seine experimentellen Anordnungen sind nicht nur außerordentlich geschickt, sondern auch von einer verblüffenden Einfachheit; dabei sind sicher die vielen Handfestigkeiten von Einfluß gewesen, die er sich in der Jugend angeeignet und durch die er einen Blick dafür bekommen hatte, wie man mit möglichst einfachen Mitteln seinen Zweck erreicht.

Geradezu ein Genuß für den Physiker sind die feinen Überlegungen in den experimentellen Arbeiten von Hertz. Als Beispiel sei nur *eine* erwähnt. Bei der Frage nach dem Durchgang der Kathodenstrahlen durch sehr dünne Metallschichten hing die ganze Beweiskraft der Versuche davon ab, ob diese Schichten nicht etwa kleine, mit dem Mikroskop nicht mehr sichtbare Löcher hatten, die die Kathodenstrahlen hindurchließen. Hertz machte nun folgendes: Er legte zwei solche dünne Metallschichten aufeinander und zeigte, daß die Kathodenstrahlen auch dann noch hindurchgingen. Nun wird man vielleicht denken: damit ist doch nichts gewonnen; wenn jede einzelne Schicht Löcher hat, so haben auch beide zusammen Löcher und die Kathodenstrahlen kommen nach wie vor durch dieselben hindurch. Diese Überlegung scheint einleuchtend, ist aber falsch. Die Bedingung dafür, daß die Kathodenstrahlen durch zwei Schichten hintereinander hindurchgehen, ist die, daß ein Loch in der einen Schicht genau an der entsprechenden Stelle eines Loches in der anderen liegt. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist tatsächlich so gering, daß der Fall nur ganz ausnahmsweise einmal eintreten wird.

Hertz war nicht nur ein ausgezeichneter Experimentator, sondern zweifellos auch einer der besten *Theoretiker* seiner Zeit. Trotz seiner Beherrschung der mathematischen Methoden war er kein Rechner, der die physikalischen Probleme nur als Vorwand für alle möglichen, mehr oder weniger nötigen Rechnungen benützte. Er war auch kein Theoretiker, der die Theorie um ihrer selbst willen betrieb, sondern er betrachtete theoretische und experimentelle Arbeit als zwei verschiedene Seiten derselben Sache. Daß ein Mann beide beherrschte, war schon damals nicht häufig. Bei Hertz hat die Vereinigung von Experiment und Theorie ausgezeichnete Früchte getragen, sowohl für seine experimentellen als für seine theoretischen Arbeiten. Ganz abgesehen davon, daß die Anregung zu seinen experimentellen Arbeiten über die elektrischen Wellen ja von der Theorie ausging, sieht man überall an der Klarheit der Fragestellung, an der Diskussion der Ergebnisse, an der Abschätzung der zu erwartenden Größen den Theoretiker. Und in seinen theoretischen Arbeiten fühlt man den Experimentator, dem es nicht genügt, irgend einen mathematischen Ausdruck als Lösung zu produzieren, sondern der zu einem greifbaren physikalischen Resultat gelangen will, das zum Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen herangezogen oder als Führung für weitere physikalische Versuche dienen kann. In dieser Beziehung ist interessant ein Vergleich der Arbeit von Hertz über das elektromagnetische Feld seines Dipols und der entsprechenden Arbeit des ausgezeichneten Theoretikers M. Abraham[16]) über das Feld des linearen Senders. Hertz hat nach den Formeln, die er abgeleitet hatte, die elektrischen Kraftlinien des Feldes für vier Momente (Phasen) der Schwingungsperiode gezeichnet. Ein Blick auf die bekannten übersichtlichen Figuren zeigt jedem, wie das Feld aussieht und wie es sich während einer Periode verändert; diese Zeichnungen sind ungefähr in jedem Buch wiedergegeben, das von elektrischen Schwingungen handelt. Abraham hat sein Problem in elliptisch-hyperbolischen Koordinaten behandelt und sein Resultat waren Gleichungen in diesen Koordinaten; er hat sich damit begnügt. Das Problem war für den Theoretiker gelöst, obwohl nach seinem Resultat weder er selbst noch irgend jemand anders unmittelbar sagen konnte, wie die Kraftlinien des Feldes tatsächlich verlaufen.

Die *Darstellung* in den Veröffentlichungen von Hertz und auch in dem Vortrag bei der Naturforscher-Versammlung in Heidelberg ist besonders sympathisch. Dieser Vortrag und auch die meisten Arbeiten sind vor allem kurz. Seine Sprache ist immer einfach; die Vorstellung mancher moderner Schriftsteller, daß eine recht ungewöhnliche Ausdrucksweise eine hohe intellektuelle Leistung kennzeichne, teilte er augenscheinlich nicht. Immer sind die Hauptpunkte und die einzelnen Fragen

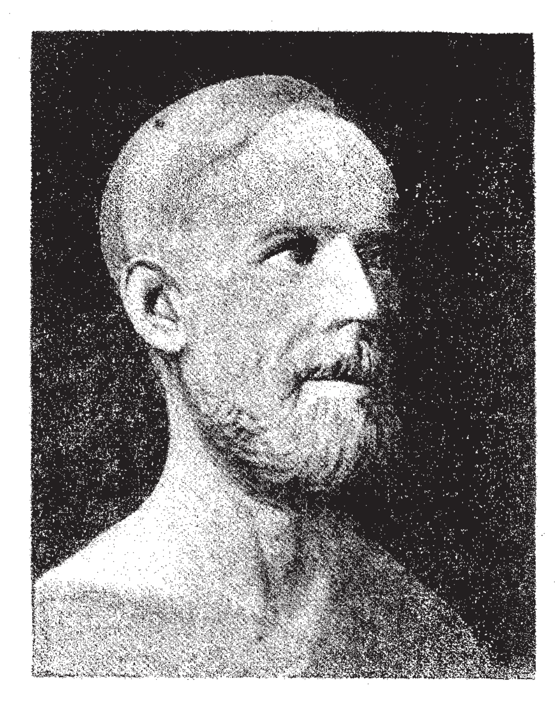


Fig. 3. Nach einer Büste im Ehrensaal des Deutschen Museums München.

klar hervorgehoben und die Beschreibung seiner Versuche und Ergebnisse ist so anschaulich, wie man es nicht oft bei Wissenschaftlern findet. Ich meine damit nicht nur, daß Hertz seine Anordnung und Ergebnisse meist durch gute Abbildungen illustrierte, ich meine damit auch seine plastische Art der Beschreibung, die wohl im Zusammenhang mit seiner Freude am Zeichnen und seiner Übung im Zeichnen steht.

Daß ein Mann von der Vielseitigkeit und Anschaulichkeit von Hertz ein guter *Lehrer* war, wird man von vornherein annehmen. v. Bjerknes, der im Institut von Hertz arbeitete, bezeugt es ausdrücklich. Er sagt: „Ich hörte nur ganz gelegentlich eine Vorlesung, habe aber immer in Erinnerung behalten die anregende Darstellung und den feinen Humor, die das Interesse der Zuhörer wach erhielten.

Über die *Persönlichkeit* von Hertz hat Hermann von Helmholtz, an dem Hertz während seines ganzen Lebens mit großer Verehrung hing und der seinerseits Hertz außerordentlich schätzte, in seiner Ein-

16) Wied. Ann. 66 (1898) 435—472.

leitung zu den Prinzipien der Mechanik von Hertz folgendes Urteil gefällt: „Heinrich Hertz hat sich durch seine Entdeckungen einen bleibenden Ruhm in der Wissenschaft gesichert. Sein Andenken wird aber nicht nur durch seine Arbeiten fortleben, auch seine liebenswürdigen Charaktereigenschaften, seine sich immer gleichbleibende Bescheidenheit, die freudige Anerkennung fremden Verdienstes, die treue Dankbarkeit, die er seinen Lehrern bewahrte, wird allen, die ihn kannten, unvergeßlich sein. Ihm selbst war es nur um die Wahrheit zu tun, die er mit äußerstem Ernst und mit aller Anstrengung verfolgte; nie machte sich die geringste Spur von Ruhmsucht oder persönlichem Interesse bei ihm geltend. Auch da, wo er einiges Recht gehabt hätte, Entdeckungen für sich in Anspruch zu nehmen, war er eher geneigt, stillschweigend zurückzutreten. Im ganzen still und schweigsam, konnte er doch heiter an fröhlichem Freundeskreis teilnehmen und die Unterhaltung durch manches treffende Wort beleben. Er hat wohl nie einen persönlichen Gegner gehabt, obgleich er gelegentlich über nachlässig gemachte oder renommistisch auftretende Bestrebungen, die sich für Wissenschaft ausgaben, ein scharfes Urteil fällen konnte." Ein ausdrucksvoller Beweis für seinen sympathischen Charakter, in dem die Anhänglichkeit an seine Eltern besonders hervortritt, ist das Buch „Heinrich Hertz, Erinnerungen, Briefe, Tagebücher" [17], in dem seine ältere Tochter das Andenken an ihren Vater festgehalten hat.

Die Original-Apparate von Hertz, die sich im Deutschen Museum befinden, haben den Krieg unbeschädigt überstanden, ebenso auch die Büste (Fig. 3), die seine jüngere Tochter geschaffen und die schon im Jahre 1917 ihren verdienten Platz im Ehrensaal des Deutschen Museums gefunden und seitdem bewahrt hat.

---

[17] Hanna Hertz, „Heinrich Hertz Erinnerungen, Briefe, Tagebücher", Akadem. Verlagsgesellschaft Leipzig (1927).